

**VERIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE NIVELES DE INTENSIDAD DE
CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS NO IONIZANTES EN ÁREAS DE
ESTUDIO DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

Daniel Ramírez Palacio

Universidad Tecnológica de Pereira

Facultad de ingenierías

Programa de ingeniería física

Pereira – Risaralda

2019

**VERIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE NIVELES DE INTENSIDAD DE
CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS NO IONIZANTES EN ÁREAS DE
ESTUDIO DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

Daniel Ramírez Palacio

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
ingeniero físico

Directora: Jenniffer Bustamante Mejía

Grupo de investigación de electrofisiología

Universidad Tecnológica de Pereira

Universidad Tecnológica de Pereira

Facultad de ingenierías

Programa de ingeniería física

Pereira – Risaralda

2019

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado 1 – Evaluador

Firma del jurado 2 – Evaluador

Firma del jurado 3 – Director

Pereira, 10 de diciembre de 2019

Dedicado a mis Padres, María y Gilberto.

AGRADECIMIENTOS

A mis profesores por sus enseñanzas y fundamentación que hicieron posible este trabajo.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional y consejos.

A mis amigos por su apoyo en el proceso de medición en las salas.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. ESTADO DEL ARTE	17
2.1. NORMATIVA	17
2.2. EFECTOS EN LA SALUD DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS NO IONIZANTES	18
2.3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.....	19
3. MARCO TEORICO.....	22
3.1. FUNDAMENTACIÓN.....	22
3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS (CEM).....	24
3.3. VALORES DE RESTRICCIÓN PARA LA EXPOSICIÓN A CEM NI	25
3.4. MEDICIÓN.....	26
3.4.1. DEFINICIONES	26
3.4.2. FUNDAMENTO METROLÓGICO	28
3.4.3. TIPOS DE MEDIDA	28
3.4.4. INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN	28
4. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE CEM NI.....	30
4.1. PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DE CEM NI DE ALTAS FRECUENCIAS	30
4.2. PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DE CEM NI DE BAJAS FRECUENCIAS	32
4.3. PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DE FUENTES NO INTENCIONALES	33
4.3.1. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE MONITORES Y COMPUTADORES TODO EN UNO	33
4.3.2. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE TORRES DE COMPUTADORES DE MESA.....	35

4.4.	PROTOCOLO CALCULO DE INCERTIDUMBRES	37
4.4.1.	INCERTIDUMBRE TIPO A	37
4.4.2.	INCERTIDUMBRE TIPO B1	38
4.4.3.	INCERTIDUMBRE TIPO B2	38
4.4.5.	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA	39
5.	RESULTADOS Y ANALISIS	41
5.1.	CARACTERIZACIÓN DE LA SALA 211	41
5.1.1.	DATOS OBTENIDOS.....	44
5.2.	CARACTERIZACIÓN DE LA SALA 212	56
5.2.1.	DATOS OBTENIDOS.....	59
6.	CONCLUSIONES	70
	REFERENCIAS	71

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Onda electromagnética</i>	<i>23</i>
<i>Espectro electromagnético.....</i>	<i>23</i>
<i>Geometría de medición de campo electromagnético en pantallas.....</i>	<i>34</i>
<i>Geometría de medición de densidad de flujo magnético en pantallas</i>	<i>35</i>
<i>Geometría de medición de campo eléctrico en torres.....</i>	<i>36</i>
<i>Geometría de medición de densidad de flujo magnético en torres</i>	<i>37</i>
<i>Esquema arquitectónico de la sala 211 del bloque 3 de la UTP.</i>	<i>41</i>
<i>Ubicación de los computadores presentes de la sala.</i>	<i>42</i>
<i>Numeración de los puntos espaciales en los que se midió.....</i>	<i>43</i>
<i>Numeración de los equipos presentes en la sala.....</i>	<i>43</i>
<i>Datos de campo eléctrico de monitores en la banda I de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.</i>	<i>46</i>
<i>Datos de campo eléctrico de monitores en la banda II de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.</i>	<i>47</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético de monitores en la banda I de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.....</i>	<i>47</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético de monitores en la banda II de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.....</i>	<i>48</i>
<i>Datos de campo de torres eléctrico en la banda I de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.</i>	<i>49</i>
<i>Datos de campo eléctrico de torres en la banda II de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.</i>	<i>50</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético de torres en la banda I de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.....</i>	<i>52</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético de torres en la banda II de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.....</i>	<i>53</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético en baja frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.</i>	<i>54</i>
<i>Datos de campo eléctrico en alta frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.</i>	<i>55</i>

<i>Datos de campo magnético en alta frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.....</i>	<i>55</i>
<i>Datos de campo eléctrico en alta frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.</i>	<i>55</i>
<i>Datos de campo magnético en alta frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.....</i>	<i>56</i>
<i>Esquema arquitectónico de la sala 212 del bloque 3 de la UTP.</i>	<i>57</i>
<i>Ubicación de los computadores presentes de la sala.</i>	<i>57</i>
<i>Numeración de los puntos espaciales en los que se midió.....</i>	<i>58</i>
<i>Numeración de los equipos presentes en la sala.....</i>	<i>59</i>
<i>Datos de campo eléctrico de monitores en la banda I de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.</i>	<i>62</i>
<i>Datos de campo eléctrico de monitores en la banda II de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.</i>	<i>62</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético de monitores en la banda I de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.....</i>	<i>62</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético de monitores en la banda II de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.....</i>	<i>63</i>
<i>Datos de campo eléctrico de torre en la banda I de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.</i>	<i>64</i>
<i>Datos de campo eléctrico de torres en la banda II de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.</i>	<i>64</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético en torres en la banda I de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.....</i>	<i>65</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético de torres en la banda II de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.....</i>	<i>65</i>
<i>Datos de densidad de flujo magnético en baja frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.</i>	<i>67</i>
<i>Datos de campo eléctrico en alta frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.</i>	<i>67</i>
<i>Datos de campo magnético en alta frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.....</i>	<i>68</i>

<i>Datos de campo eléctrico en alta frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.</i>	<i>68</i>
<i>Datos de campo magnético en alta frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.....</i>	<i>69</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Límites de exposición a CEM NI con riesgo ocupacional.....</i>	<i>25</i>
<i>Límites de exposición a CEM NI para personas en general</i>	<i>25</i>
<i>Valores Límite de exposición a campos electromagnéticos del reglamento TCO</i>	<i>26</i>
<i>Tabla t de Student.....</i>	<i>40</i>
<i>Formato para la consignación de datos preliminares a la medición de CEM-NI de fuentes no intencionales</i>	<i>45</i>
<i>Formato para la consignación de los instrumentos de medición utilizados en a la medición de CEM-NI de fuentes no intencionales</i>	<i>45</i>
<i>Formato de medición rápida para monitores.....</i>	<i>46</i>
<i>Formato de medición en torres para el campo eléctrico en la banda I.....</i>	<i>48</i>
<i>Formato de medición en torres para el campo eléctrico en la banda II.....</i>	<i>50</i>
<i>Formato de medición en torres para densidad de flujo magnético.....</i>	<i>52</i>
<i>Datos espaciales de baja frecuencia.....</i>	<i>53</i>
<i>Datos espaciales de alta frecuencia.....</i>	<i>54</i>
<i>Formato para la consignación de datos preliminares a la medición de CEM-NI de fuentes no intencionales</i>	<i>60</i>
<i>Formato para la consignación de los instrumentos de medición utilizados en a la medición de CEM-NI de fuentes no intencionales</i>	<i>60</i>
<i>Formato de medición rápida para monitores.....</i>	<i>61</i>
<i>Formato de medición en torres.</i>	<i>63</i>
<i>Datos espaciales de baja frecuencia.....</i>	<i>66</i>
<i>Datos espaciales de alta frecuencia.....</i>	<i>66</i>

RESUMEN

La salud de las personas siempre ha sido un tema de interés común, más cuando se trata de la salud de estudiantes. Por esto se implementó un protocolo, con base a los protocolos UIT-K52 y el de las normas TCO del 2019, para la medición de campos eléctricos y magnéticos en las salas de cómputo de la Universidad Tecnológica de Pereira en baja y alta frecuencia en el espacio de la sala y en las dos bandas propuestas por la TCO en los monitores y torres de PC, para así certificar que los niveles de exposición a la que se someten los estudiantes son seguros.

La verificación se llevó a cabo en 2 salas de cómputo de la UTP de uso común de estudiantes, comparando los niveles de intensidad obtenidos con los límites de la ICNIRP y la TCO, los niveles de intensidad de las salas no sobrepasan los límites siendo seguros para los estudiantes, profesores y monitores que las usan, teniendo en cuenta que ninguno pasa más de 10 horas diarias en estas salas.

1. INTRODUCCIÓN

Los campos electromagnéticos no ionizantes (CEM NI) están presentes en nuestras vidas diarias, hay muchas fuentes a las que las personas están expuestas, estas fuentes son intencionales, como las antenas telefónicas, la red wifi y las conexiones bluetooth, o no intencionales como los celulares, los computadores y las líneas eléctricas. En 1973 se creó la comisión internacional en protección de radiación no ionizante (ICNIRP) para proteger a las personas de este tipo de radiación, esta comisión en base a todos los estudios realizados de los efectos de la radiación no ionizante en la salud, llegando a ser clasificado como posiblemente carcinógeno para los seres humanos por la organización mundial de la salud, propuso límites seguros de exposición para personas corrientes y para personas con exposición ocupacional [1].

Con la llegada de los computadores a los ambientes laborales y estudiantiles se creó la preocupación de como la exposición prologada a estos podía afectar la salud de las personas, por eso se creó la norma sueca TCO '92 que definió los límites de intensidad de campo eléctrico y magnético que pueden producir los monitores y las torres de computadores de mesa. Estas normas evolucionaron junto a los computadores haciendo que las normas se renueven cada 3 años [2, 3].

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Con el desarrollo informático es importante que los estudiantes dentro de su pensum académico cuenten con materias que les permitan aprender a usar los recursos informáticos y contar con espacios que puedan usar para estudiar usando computadores, por lo tanto es necesario que la universidad cuente con salas de cómputo para la enseñanza y el acceso de los estudiantes a la información, sin embargo esto genera una exposición prolongada a CEM-NI de altas y bajas frecuencias, por parte de los estudiantes y más aún en los monitores y profesores que pasan hasta 8 horas en estas salas, dentro de las responsabilidades de la universidad está garantizar la salud y un ambiente

óptimo para los estudiantes, profesores y personal administrativo, por ello es necesario conocer cuáles son los niveles de exposición a los cuales están expuestos. Las salas de cómputo de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) cuentan con gran variedad de fuentes de exposición para las personas que las usan, por lo cual es necesario contar con procedimientos de medición adecuados, basados en las normas y recomendaciones internacionales. Con base a esto se propone la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar e implementar protocolos de medición que permitan certificar los niveles de intensidad de campos electromagnéticos no ionizantes de alta y baja frecuencia en las salas de cómputo de la UTP, basados en normas y recomendaciones nacionales e internacionales?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Todo lo que pueda ser un factor de riesgo para la salud humana es de gran interés social; mucho más si se puede tener un control preventivo y dirigido a estudiantes; por esta razón, existen entidades y organizaciones internacionales, como ICNIRP la cual es una comisión internacional especializada en protección contra la radiación no ionizante, desarrolla actividades que incluyen determinar límites de exposición para campos electromagnéticos generados y utilizados por dispositivos como teléfonos celulares y antenas de telefonía celular entre otros. trabaja de manera conjunta con la Organización Mundial de la Salud (OMS) [1].

En Colombia el estudio de los efectos de los CEM-NI sobre las personas es incipiente y son pocos los estudios que se realizan con respecto a los niveles de exposición a los cuales están expuestas las personas en ambientes de estudio, laborales, y públicos, tal es el caso de las salas de cómputo de la UTP, lugar en el cual la radiación no ionizante es habitual, prolongada y constante. Aunque existe normatividad nacional al respecto, la cual está basada en las normas y recomendaciones internacionales, no existen en el país entidades “acreditadas” con base en la norma NTC-ISO/IEC 17025 que cuenten con la idoneidad y la capacidad de verificar y certificar los niveles de exposición a los cuales hacemos referencia. Con base en los argumentos anteriores se plantea este proyecto, ya que tiene como propósito principal la verificación y certificación de campos

electromagnéticos no ionizantes en el ambiente de la UTP, para lo cual es necesario elaborar protocolos de medición de los mismos con base en recomendaciones y en normas nacionales e internacionales existentes para ello, de la misma manera se pretende implementar los protocolos diseñados, realizando un estudio en las salas de cómputo en la UTP, que se encuentran con exposición a fuentes de radiación electromagnética, con el objetivo de analizar el nivel de radiación a la que se encuentran expuestas las personas que usan estas salas (Estudiantes, monitores y docentes), comparando estos valores con los estándares de la ICNIRP.

Este proyecto forma parte del macro-proyecto del grupo de electrofisiología de la Universidad Tecnológica de Pereira que pretende “acreditar” un laboratorio de metrología electromagnética que mida, verifique y certifique los niveles de intensidad de campos electromagnéticos no ionizantes con base en las normas NTC-ISO/IEC 17025 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración), NTC-ISO/17020 (Criterios generales para la operación de Varios tipos de organismos de inspección) y la normatividad nacional e internacional que establece recomendaciones para límites de exposición y medición de este tipo de radiaciones.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar con base en la normatividad nacional e internacional los protocolos para realizar la verificación y certificación de los niveles de intensidad de campos electromagnéticos no ionizantes (CEM-NI) de alta y baja frecuencia, presentes en ambientes de estudio de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP).

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer y analizar las normas nacionales e internacionales que rigen actualmente, relacionadas con los niveles máximos permitidos de intensidad de CEM-NI de altas y bajas frecuencias.

- Realizar el entrenamiento correspondiente al funcionamiento de los instrumentos de medición para altas y bajas frecuencias con los que cuenta el grupo de electrofisiología de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Diseñar y elaborar los procedimientos técnicos para la verificación y certificación de CEMNI de altas y bajas frecuencias en áreas de estudio de la UTP teniendo en cuenta las normas nacionales e internacionales.
- Implementar los protocolos de medición de CEM-NI en una muestra de áreas de estudio de la UTP, que permita realizar un diagnóstico situacional de los niveles de intensidad a los cuales los estudiantes, monitores y profesores están expuestos, por el efecto de fuentes de radiación externas.
- Contrastar los niveles de intensidad de los campos electromagnéticos no ionizantes llevados a cabo en la muestra con las normas y recomendaciones nacionales e internacionales vigentes.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. NORMATIVA

Como todo lo que pueda afectar la salud de las personas, los CEM NI han sido de interés de estudio, por esto en 1973 se creó la ICNIRP, durante el tercer congreso de la asociación internacional de protección a la radiación (IRPA), con el objetivo de conocer los efectos en la salud de los CEM NI, recopilar la información al respecto y establecer límites de exposición seguros para las personas [1].

Los límites propuestos por la ICNIRP han sido acogidos por varios reglamentos, como es el caso del reglamento la unión internacional de telecomunicaciones (UIT), el cual es el usado en Colombia por la agencia nacional del espectro (ANE), esta es la encargada de regular los campos electromagnéticos dentro del territorio colombiano [4].

La ANE dentro de la resolución 754 del 2016 afirma que dentro del territorio colombiano la definición de técnicas, parámetros de supervisión y la evaluación de los cumplimientos de los límites de exposición de las personas a CEM NI están basados en las recomendaciones UIT-TK 70, UIT-TK 83 y UIT-TK 100, las cuales fueron recopiladas y publicadas en la resolución 1645 del 2005 [5].

Los límites de la ICNIRP se basan en fuentes intencionales como lo son antenas de teléfono, antenas de radio, dispositivos wifis, cables de corriente, entre otros, para los dispositivos que emiten radiación no intencional, se usan los límites de la norma sueca TCO, la cual no ha sido acogida por la normativa colombiana [6].

Con la llegada de los computadores, las personas sintieron el temor de posibles perjuicios para la salud por su uso y más para las personas que laboran con ellos y están expuestos a largos periodos a la radiación no ionizante que estos generan, el cual no es intencional, pero es necesario para su funcionamiento. Por este motivo se crearon en 1992 las normas suecas TCO las cuales protegen

a los trabajadores verificando que los niveles de exposición sean seguros. Estas normas se actualizan cada 3 años modificando los límites y protocolo para adaptarse a los nuevos dispositivos disponibles en el mercado [2, 3, 7, 8].

2.2. EFECTOS EN LA SALUD DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS NO IONIZANTES

- Efectos de los CEM NI de bajas frecuencias en la salud

En el 2010 la ICNIRP publicó la recopilación de resultados de diversos estudios realizados por directrices de la ICNIRP sobre el efecto de CEM NI de baja frecuencia en la salud, que sirvieron como bases científicas para la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) y la OMS. Dentro de lo concluido se obtuvo que los niveles altos campos magnéticos en frecuencias entre 50-60 Hz está asociado con el riesgo de padecer leucemia infantil, esto llevó a la OMS y la IARC a clasificar los CEM NI ionizantes en la clasificación 2B, es decir posiblemente carcinógeno para los seres humanos [9].

- Efectos de los CEM NI de altas frecuencias en la salud

En el 2009 la ICNIRP publicó un recopilado de los estudios respecto a los efectos de los CEM NI de altas frecuencias en la salud humana, dentro de los resultados de uno de los estudios realizado con voluntarios se observó un aumento en la temperatura corporal, la cual no superó los 39° C por lo cual el aumento en temperatura está presente pero no es riesgoso, en cuanto a la aparición de cáncer, siempre y cuando se mantengan los niveles de exposición dentro de los rangos establecidos hay una baja probabilidad de que aparezcan tumores u otras anomalías, en cuanto al cerebro se encontraron pequeños cambios respecto a la fisiología en el electroencefalograma (EEG) del sueño, el espontáneo y en el flujo de la sangre en el cerebro con consecuencias funcionales limitadas y sin cambios en lo cognitivo [10].

Dentro de los efectos más notables está el efecto auditivo por microondas, el cual consiste en que una persona escuche un clic que otras personas no oyen, esto debido a la expansión térmica de porciones del oído, este fenómeno se produce con la exposición a frecuencias entre 200 MHz y 3GHz [10].

Dentro de los efectos aparecen algunos efectos subjetivos para las personas como dolores de cabeza, sin embargo, no hay pruebas causales de que sean estos estén relacionados con la exposición a CEM NI, tampoco se ha podido demostrar que los niños sean más susceptibles a los efectos del CEM NI de alta frecuencia [10].

2.3. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Este proyecto hace parte de un macroproyecto del grupo de electrofisiología de la UTP para la verificación y certificación de CEM NI. Dentro de los trabajos ya realizados tenemos:

- Diseño e implementación de procedimientos técnicos para la evaluación del riesgo de los CEM producidos por la telefonía celular

En este trabajo de grado se midieron los campos electromagnéticos producidos por estaciones bases (antenas), para esto se usó un protocolo basado en normas internacionales como la UIT-K52 y recomendaciones de la ICNIRP. Como resultado se obtuvo un protocolo para la medición de CEM NI de alta frecuencia para teléfonos celulares en ambientes públicos y laborales, este fue implementado en el conjunto residencial de Guaduales de Milán en la ciudad de Dosquebradas, obteniéndose que dicho conjunto cumple con los niveles establecidos para la protección de CEM NI de alta frecuencia producidos por antena, sin embargo, esto no garantiza que en todo Colombia este se cumpla [11].

- Medición y certificación de niveles de intensidad de CEM NI en ambientes clínicos hospitalarios

En este artículo publicado se trabajó en el hospital San Vicente de Paúl en Santa Rosa de Cabal, en cuatro salas que dispusieron, la sala de procedimientos, la sala de partos, la sala de reanimación y la sala de maternidad. En estas salas midieron los niveles de CEM NI de alta y baja frecuencia con un protocolo diseñado con normas internacionales como la UIT-K52 y las recomendaciones de la ICNIRP. Los resultados obtenidos se compararon con lo establecido en la

norma NTC-ISO IEC 17025. En cuanto a los resultados obtenidos ninguna de las cuatro salas presentó un nivel significativa, estando por debajo de inmunidad radiada [12].

También hay que resaltar algunos proyectos que se realizaron fuera del grupo de electrofisiología de la UTP en otras partes del país.

- Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia

En este artículo se midieron los CEM NI en 50 puntos de la ciudad de Cali usando un medidor de banda ancha y de banda angosta para compararlos con los límites de exposición recomendados por la ICNIRP, los puntos fueron escogidos en su mayor parte en calles del norte de la ciudad, teniendo también puntos en azoteas y campo despejado. Con el medidor de banda ancha se midió el campo magnético y eléctrico rms y con el de banda angosta la aportación de cada frecuencia, como resultado se obtuvo que el 96% de los puntos escogidos se encontraban dentro de las recomendaciones de la ICNIRP, solo 2 puntos sobrepasaron los límites recomendados y se notó que más del 50% de los CEM NI son generados por las antenas celulares [13].

- Contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en ambientes al aire libre

En este caso la medición del CEM NI es en la ciudad de Cúcuta en la cual se tomó como muestra el barrio los pinos, aquí se midieron los CEM NI con un protocolo basado en el UIT-K52 tomando un rango de frecuencia entre 10 MHz y 8 GHz por el equipo utilizado y como límites de referencia se usaron las recomendaciones de la ICNIRP, como resultado se obtuvo que los niveles de CEM NI están por debajo de los límites recomendados por la ICNIRP y se notó que los valores mayores se presentan en zonas desprovistas de casas y edificios, es decir el parque [14].

- Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga

Se tomaron medidas de CEM NI en la ciudad de Bucaramanga, en el aeropuerto, conjuntos residenciales y zonas de transmisoras usando un protocolo basado en el UIT-K52 y como referencia los niveles recomendados por la ICNIRP. Para la medición se usó el software SpecView el cual emplea equipos de ministerio de comunicación que permite automatizar medidas entre 10 kHz y 10 GHz, dentro de los resultados se obtuvo que el nivel de exposición está dentro de las recomendaciones de la ICNIRP, pero se recomienda tener en cuenta para futuros trabajo fuentes como las de wifi, bluetooth y ultra wide band, debido a que en este proyecto no se tuvieron en cuenta y pueden aumentar la exposición [15].

3. MARCO TEORICO

3.1. FUNDAMENTACIÓN

El electromagnetismo ha sido una de las más grandes revoluciones que ha tenido la física, los primeros fenómenos magnéticos fueron observados por los griegos por el 700 a.c, siendo acreditados los primeros estudios a Tales de Mileto, viendo como un pedazo de ámbar frotado era capaz de atraer plumas y como la magnetita era capaz de atraer objetos de hierro. No fue hasta 1785 que Charles Coulomb confirma la ley inversa del cuadrado para la electricidad y en 1873 James Clerk Maxwell recopilando el trabajo de varios científicos y aportes propios formula las leyes del electromagnetismo que hoy se conocen, más tarde en 1878 Heinrich Hertz, verifica la existencia de las ondas electromagnéticas en el laboratorio [16].

Estas investigaciones unidas a la investigación de las propiedades de los materiales, dio paso a gran número de invenciones como la bombilla y los motores eléctricos, luego con la llegada de los semiconductores llegaron los televisores, computadores y celulares, todo esto se ha notado como un gran avance para la sociedad, sin embargo también ha expuesto a las personas a campos electromagnéticos no ionizantes lo cual puede presentar problemas en la salud en las personas, por ejemplo se ha asociado la radiación no ionizante con la anemia en los niños [16].

Una onda electromagnética tiene una componente eléctrica (E) y otra magnética (B). En una onda plana los componentes E y B son perpendiculares entre sí y también perpendiculares a la dirección de propagación. En la exposición ocupacional o de frecuencias menores a 300 MHz nos encontramos en el campo próximo y ambas componentes deben de analizarse por separado [17].

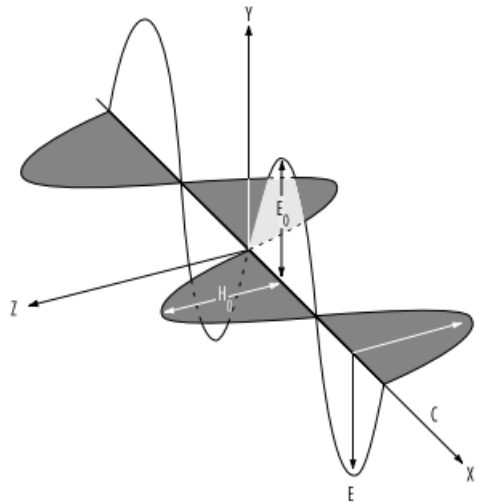


Ilustración 1 Onda electromagnética

Las ondas electromagnéticas viajan por el vacío a la velocidad luz (c). Las variaciones de como percibimos o interactúan estas ondas depende de su longitud de onda, siendo su energía directamente proporcional a su longitud y directamente proporcional a su frecuencia, los diferentes tipos de ondas electromagnéticas se organizan dentro del espectro electromagnético, dentro de este espectro tenemos, las ondas de radio, microondas, infrarrojas, visibles, ultravioletas, rayos gamma, rayos x, radiación cósmica y muchos otros más [18].

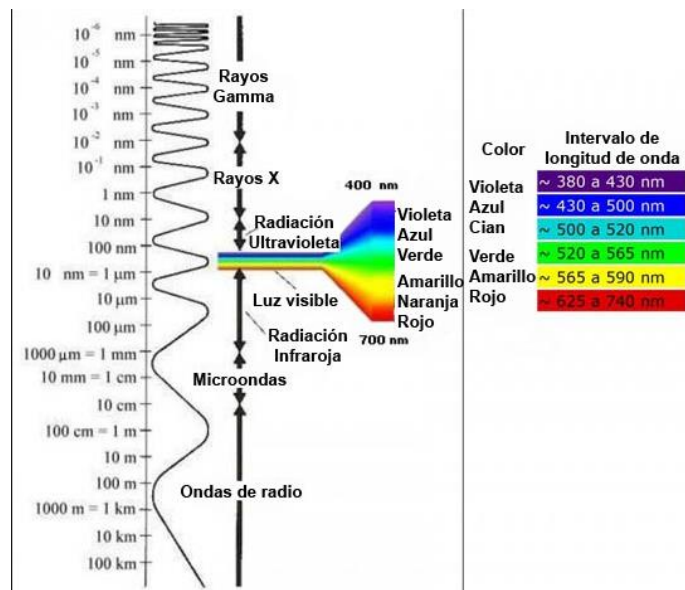


Ilustración 2 Espectro electromagnético

3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS (CEM)

Los campos electromagnéticos se clasifican en dos tipos según su longitud de onda:

- Campos electromagnéticos ionizantes

Son las ondas electromagnéticas que cuentan con suficiente energía para desligar los electrones de los átomos al incidir en un material, este proceso se llama ionización formando un par de iones, el electrón libre (Carga negativa) y el átomo sin un electrón (Carga positiva) [19].

Este tipo de radiación es sumamente dañina para la salud generando náuseas, vómito, cáncer, lesiones en los tejidos y mutaciones genéticas, las cuales se pueden heredar [19].

Sin embargo, los campos electromagnéticos ionizantes se han usado de una forma beneficiosa en la producción de imágenes médicas en instrumentos como los rayos x, la tomografía computarizada, la tomografía por emisión de positrones y la fluoroscopia con escaneo, además de usarse también para combatir tumores cancerígenos [19].

La radiación ionizante comprende todas las frecuencias superiores a 300 GHz, comprendiendo los rayos x, los rayos γ , los rayos β y los rayos cósmicos [19].

- Campos electromagnéticos no ionizantes

Engloban toda la radiación y los campos del espectro electromagnético que no tienen suficiente energía para ionizar la materia. Es decir, es incapaz de impartir suficiente energía a una molécula o un átomo para alterar su estructura quitándole uno o más electrones. Son mayormente utilizados en las telecomunicaciones, electrodomésticos y en aplicaciones ópticas, son a los que se está más expuesto, comprendiendo desde los 0 Hz hasta los 300 GHz. Estos a su vez se dividen en dos CEM NI los de baja frecuencia que van desde 0 Hz hasta 100 kHz, y las de alta frecuencia que van desde los 100 kHz hasta 300 GHz [17].

3.3. VALORES DE RESTRICCIÓN PARA LA EXPOSICIÓN A CEM NI

Para la cuantificación de los efectos de los CEM NI se usa intensidad de campo eléctrico y magnético, debido a que la exposición no se da en una sola frecuencia se usa el valor eficaz (rms), es decir el valor cuadrado medio del campo en el rango de espectro que se esté analizando [9].

Para la cantidad de intensidad campo eléctrico se usan las unidades de Volt sobre metro (V/m), para las unidades de intensidad de campo magnético se usa Ampere sobre metro (A/m) y para densidad de flujo magnético se usa Tesla (T). La ICNIRP con lo obtenido en su recopilación de efectos en la salud de los CEM NI propuso los siguientes límites de exposición, los cuales dividió en dos, un rango de límites para las personas expuestas ocupacionalmente y otra para las personas expuestas cotidianamente [10].

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)
up to 1 Hz	—	1.63×10^5	2×10^5
1–8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$
8–25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$
0.025–0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$
0.82–65 kHz	610	24.4	30.7
0.065–1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$
1–10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$
10–400 MHz	61	0.16	0.2
400–2,000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$
2–300 GHz	137	0.36	0.45

Tabla 1 Límites de exposición a CEM NI con riesgo ocupacional

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)
up to 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$
8–25 Hz	10,000	$4,000/f$	$5,000/f$
0.025–0.8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$
0.8–3 kHz	$250/f$	5	6.25
3–150 kHz	87	5	6.25
0.15–1 MHz	87	$0.73/f$	$0.92/f$
1–10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$
10–400 MHz	28	0.073	0.092
400–2,000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$
2–300 GHz	61	0.16	0.20

Tabla 2 Límites de exposición a CEM NI para personas en general

En base a los estudios de salud de exposición a campos electromagnéticos no ionizantes, teniendo en cuenta la manera en la que se exponen los trabajadores durante sus jornadas laborales, la cuales deben ser menores a 10 horas diarias, la TCO fijo los siguientes límites de exposición [2, 3].

	E(V/m)	B(nT)
Banda I (5 Hz-2 kHz)	10	200
Banda II (2 kHz-400 kHz)	1	25

Tabla 3 Valores Límite de exposición a campos electromagnéticos del reglamento TCO

3.4. MEDICIÓN

Para efectuar la medición e interpretar correctamente los datos se deben tener en cuenta algunas definiciones.

3.4.1. DEFINICIONES

- Tiempo de premedicación (T_{avg}): El tiempo de premedicación es el periodo de tiempo apropiado en el que se promedia la exposición con el fin de determinar el cumplimiento de los límites.
- Exposición continua: La exposición continua se define como la exposición durante un tiempo superior al correspondiente tiempo de premedicación. La exposición durante un tiempo inferior al de premedicación se denomina exposición de corta duración.
- Exposición controlada/ocupacional: La exposición controlada/ocupacional se aplica a situaciones en las que las personas están expuestas como consecuencia de su trabajo y en las que las personas expuestas han sido advertidas del potencial de exposición y pueden ejercer control sobre la misma.
- Exposición: Se produce exposición siempre que una persona está sometida a campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos, o a corrientes de contacto distintas de las originadas por procesos fisiológicos en el cuerpo o por otros fenómenos naturales.

- Nivel de exposición: El nivel de exposición es el valor de la magnitud utilizada cuando una persona está expuesta a campos electromagnéticos o a corrientes de contacto.
- Exposición no uniforme/exposición corporal parcial: Los niveles de exposición no uniforme/exposición corporal parcial se producen cuando los campos son no uniformes en volúmenes comparables al del cuerpo humano completo, lo cual puede deberse a fuentes altamente direccionales con ondas estacionarias, radiación dispersa o en el campo cercano.
- Público en general: Todos los no operarios se definen como público en general.
- Corriente inducida: Corriente que se induce dentro del cuerpo de resultados de la exposición directa a los campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos.
- Emisor intencional: Dispositivo que genera y emite intencionalmente energía electromagnética por radiación o inducción.
- Exposición de corta duración: El término exposición de corta duración designa la exposición de duración inferior al correspondiente tiempo de premedicación.
- Exposición no controlada de la población general: La exposición no controlada de la población general se aplica a situaciones en las que el público en general puede estar expuesto o en las que las personas expuestas como consecuencia de su trabajo pueden no haber sido advertidas del potencial de exposición y no pueden ejercer control sobre la misma.
- Emisor no intencional: Dispositivo que genera intencionalmente energía electromagnética para utilización dentro del dispositivo, o que envía energía electromagnética por conducción a otros equipos, pero no

destinado a emitir o a radiar energía electromagnética por radiación o inducción [6].

3.4.2. FUNDAMENTO METROLÓGICO

Para que las medidas sean aceptables y fiables se deben cumplir ciertos estándares, los cuales se especifican en el NTC-ISO-IEC- 17025, este se acoge en el país dentro del NTC-ISO/IEC 17025. En esta norma se establecen los requisitos para el poder realizar ensayos de mediciones o calibraciones y debe usarse independientemente del tamaño, cantidad de personas o alcance de actividades del laboratorio [20].

3.4.3. TIPOS DE MEDIDA

- Medida directa: Una medida o medición es directa cuando se dispone de un instrumento de medida que la obtiene; así, si deseamos medir la distancia de un punto a, a un punto b, y se dispone del instrumento que permite realizar la medición [21].
- Medida indirecta: Las medidas indirectas son aquellas que son resultado de emplear una expresión matemática que implica operaciones con cantidades físicas que fueron medidas directamente [21].

3.4.4. INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN

La incertidumbre es un parámetro asociado con el resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores, que razonablemente pudiera ser atribuida al mensurando. Toda medida conlleva una incertidumbre, pues no se puede asegurar que el valor entregado sea totalmente exacto y preciso. Existen incertidumbres por medidas directas, las cuales se asocian a los errores sistemáticos y aleatorios, e incertidumbres indirectas, la cual se presenta cuando se obtiene una medición matemáticamente a partir de una medición que ya se realizó, se llama también valor derivado y generalmente se obtiene empleando el diferencial de la formula usada. A esta transmisión de errores en medidas indirectas se suele llamar propagación de errores [22].

Debido a las posibilidades de errores se tienen varios tipos de incertidumbre, los cuales son:

- Incertidumbre estándar: Incertidumbre del resultado de una medición expresada como una desviación estándar.
- Evaluación de incertidumbre tipo A: Método para evaluar la incertidumbre mediante el análisis estadístico de una serie de observaciones.
- Evaluación de incertidumbre tipo B: Método para evaluar la incertidumbre por otro medio que no sea el análisis estadístico de una serie de observaciones.
- Incertidumbre estándar combinada: Incertidumbre estándar del resultado de una medición cuando el resultado se obtiene a partir de los valores de algunas otras magnitudes ponderadas considerando el resultado de la medición que varía respecto a cambios en estas magnitudes.
- Incertidumbre expandida: Cantidad que define un intervalo alrededor de una medición del que se puede esperar que abarque una fracción grande de la distribución de valores que razonablemente pudieran ser atribuidos al mensurando.
- Factor de cobertura: Factor numérico usado como multiplicador de la incertidumbre estándar combinada con el propósito de obtener una incertidumbre expandida [22].

4. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE CEM NI

Para la medición del CEM NI se usó como referencia las normas internacionales UIT K52 [6] para altas y bajas frecuencias, y las recomendaciones de límites de exposición de la ICNIRP [1], que a su vez son acopladas en normas nacionales por la ANE [5].

Para fuentes no intencionales como los son pantallas y torres de computador se usó la norma sueca TCO [2, 3].

4.1. PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DE CEM NI DE ALTAS FRECUENCIAS

En esta fase se realiza una medición de CEM en banda ancha, la cual se utiliza para obtener el nivel de campos electromagnéticos total, independientemente del número de fuentes existentes, en forma de intensidad de campo eléctrico y magnético, promediadas durante un cierto período. En el caso de las salas de estudio de la UTP no existen emisores cercanos importantes, como antenas telefónicas u otras fuentes significativas de CEM NI de alta frecuencia, por lo que no fue necesario aplicar el procedimiento en banda angosta [6].

Si una vez realizada la medición, el resultado es menor a los "niveles de decisión" se considera que el sistema en evaluación cumple con los límites de exposición de campos electromagnéticos [6].

A continuación, se presentan consideraciones generales que es necesario tener en cuenta para la realización de las mediciones:

- Iniciar la toma de medidas con la sonda de campo eléctrico a una distancia que presente una lectura significativa, recorriendo los trayectos dispuestos con antelación, con la sonda de medición ubicada a 1,50 m de altura.
- En caso de que los valores medidos superen en los recorridos los límites de exposición de la norma UIT-TK 52. se realizarán mediciones tomadas

en RMS de promediación de 6 minutos, con el fin de estudiar su estabilidad en el tiempo.

- Con la información tomada, se podrán realizar gráficas de toma de medidas, indicando los niveles de campo normalizados respecto a los límites establecidos de exposición [6].

En cuanto a los equipos de medición utilizados, deben cumplir mínimo con las características indicadas a continuación [6]:

- La banda de operación del equipo de medición debe ser mínimo de 500 kHz a 4 GHz. Se aceptarán equipos de medición que cubran el rango de frecuencias de 500 kHz a 3 GHz, hasta cuando el MinTIC realice la asignación de la banda de 3.5 GHz proyectada dentro de la planeación de espectro, momento en el cual deberán empezar a utilizar equipos de medición que cubran mínimo hasta 4 GHz.
- Para el caso de mediciones con sondas de campo eléctrico, la banda de frecuencias debe ser mínimo de 500 kHz a 4 GHz. Se aceptarán mediciones de campos electromagnéticos de banda ancha que cubran el rango de frecuencias de 500 kHz a 3 GHz, hasta cuando el MinTIC realice la asignación de la banda de 3.5 GHz proyectada dentro de la planeación de espectro, momento en el cual deberán empezar a utilizar equipos de medición que cubran mínimo hasta 4 GHz.
- Para el caso de mediciones con sondas de campo magnético, el rango de frecuencias de las mismas podrá ser menor siempre y cuando se garantice que con varias sondas se cubre la banda de frecuencias de 500 kHz a 4 GHz o que se utilizará para medir campo cercano, caso en el cual las sondas deberán cubrir mínimo la banda de frecuencias de interés.
- Se podrán utilizar sondas ponderadas, las cuales deben estar referenciadas a las curvas definidas por el ICNIRP.
- Proporcionar el valor RMS (valor cuadrático medio) de la intensidad de campo eléctrico y magnético.
- Se recomienda el uso de sondas y antenas con respuesta isotrópica. Antenas de un solo eje (ejemplo: dipolo) y antenas directivas pueden ser

usadas siempre y cuando se realice el post-procesamiento de los datos para obtener la intensidad de campo total (equivalente a la medida con una antena o sonda isotrópica).

- Para el caso de mediciones de campo eléctrico, el rango de medición de intensidad de campo eléctrico RMS mínimo es 1 a 153 V/m.
- Para el caso de mediciones de campo magnético, el rango de medición de intensidad de campo magnético RMS mínimo es 0.03 a 0.8 A/m [6].

4.2. PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DE CEM NI DE BAJAS FRECUENCIAS

En esta fase se realiza una medición de densidad de flujo magnético en banda ancha, la cual se utiliza para obtener el nivel de campo magnético total, independientemente del número de fuentes existentes [6].

- Las densidades de flujo magnético bajo la línea de transmisión deberán ser medidos a una altura de 1 metro sobre el nivel del suelo. Las mediciones a otras alturas de interés deberán estar explícitamente indicadas. Los medidores de campos con sondas de un solo eje deberán orientarse hasta detectar la lectura de mayor valor. Alternativamente, los medidores de campo con sondas de tres ejes pueden usarse para medir la resultante del campo magnético (valor eficaz, rms). Las componentes verticales y horizontales de campo pueden medirse cuando sea requerido, ya sea por comparación con cálculo o por cálculos de los efectos de inducción en cercas, etc. En todos los casos, cuando se reporten los resultados de las mediciones, las cantidades a ser reportadas deberán estar claramente indicadas.
- Debe tomarse en cuenta que la resultante de campo magnético, es igual al valor eficaz (rms) de la densidad de flujo magnético, independiente de las fases de las componentes ortogonales. En casos donde el campo magnético permanece relativamente constante, puede utilizarse un medidor de un solo eje para determinar la resultante de campo magnético mediante la medición de las componentes horizontal y vertical del campo y combinar ambas.

- Si las señales de una de las sondas individuales de un medidor de tres ejes pueden detectarse, entonces una de las sondas puede rotarse para determinar el máximo campo. El operador no deberá estar cerca de la sonda. Para medir los campos no perturbados, los objetos no permanentes que contienen materiales magnéticos o conductores no magnéticos deberán estar alejados del punto de medición por lo menos a una distancia equivalente a tres veces la dimensión del mayor objeto. Para obtener mediciones precisas en un ambiente de campo perturbado, la distancia entre la sonda y los objetos magnéticos permanentes deberá ser por lo menos un metro. Para obtener una descripción completa de los campos magnéticos en un punto de interés, deberán medirse los campos máximos y mínimos con sus orientaciones en el plano del campo elíptico [6].

4.3. PROTOCOLO PARA LA MEDICIÓN DE FUENTES NO INTENCIONALES

4.3.1. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE MONITORES Y COMPUTADORES TODO EN UNO

Para la medición de los niveles de campo eléctrico existen dos tipos de protocolos.

- Protocolo rápido

Aquí se mide el campo electromagnético en el centro de la pantalla a unos 30 cm, con un margen permitido de error de 5 cm en los ejes x, y, z. Si el resultado es menor o igual a 4.0 V/m en la banda I y menor o igual a 0.4 V/m en la banda II se puede considerar que el dispositivo cumple con las normas establecidas por la TCO [2].

- Protocolo completo

En caso de que el dispositivo no pase la prueba del protocolo rápido se debe llevar a cabo uno de los siguientes protocolos, dependiendo del tamaño de la pantalla [2].

Para pantallas menores o iguales a 26"

Lo primero que se debe hacer es medir la distancia entre el eje perpendicular de la base del monitor y el centro de la pantalla, esta distancia la llamaremos L y tomaremos un eje cilíndrico en las coordenadas $L/2$ en el centro del computador, desde allí tomaremos un radio de $L/2 + 0,5\text{ m}$ y mediremos en el ángulo 0 para la banda I y 0° , 90° , 180° y 270° para la banda II, con la superficie del instrumento de medida perpendicular a la pantalla con un error permitido de 5° [2].

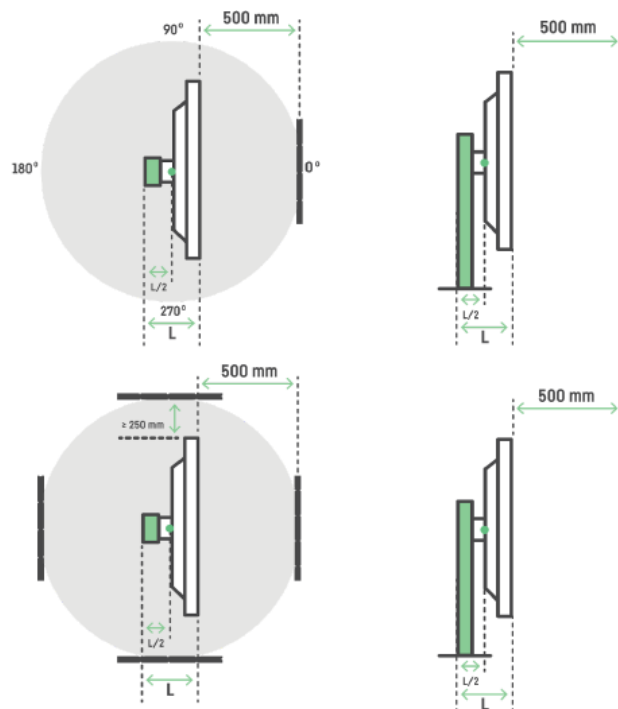


Ilustración 3 Geometría de medición de campo electromagnético en pantallas

Las pantallas de las salas de computo de la UTP son iguales o menores a 26" por lo cual no fue necesario aplicar el procedimiento para pantallas mayores a 26" [2].

En cuanto la densidad de flujo magnético también hay dos protocolos uno rápido y uno completo.

- Protocolo rápido

Aquí se mide la densidad de flujo magnético en el centro de la pantalla a unos 30 cm con un margen permitido de error de 5 cm en los ejes x, y, z. Si el resultado

es menor o igual a 80 nT en la banda I y menor o igual a 10 nT en la banda II se puede considerar que el dispositivo cumple con las normas establecidas por la TCO [2].

- Protocolo completo

En el caso que el dispositivo no cumpla el protocolo rápido se debe hacer el protocolo completo de la siguiente manera [2].

Para pantallas iguales o menores a 26"

Lo primero que se debe hacer es medir la distancia entre el eje perpendicular de la base del monitor y el centro de la pantalla, esta distancia la llamaremos L y tomaremos un eje cilíndrico en las coordenadas $L/2$ en el centro del computador, desde allí tomaremos un radio de $L/2 + 0,5$ m y mediremos en el centro de la pantalla, luego a una altura de 0,3 m del centro de la pantalla y a una altura de 0,3 m debajo de la pantalla, de aquí se hacen estas mismas medidas rotando $22,5^\circ$ hasta dar vuelta a la pantalla [2].

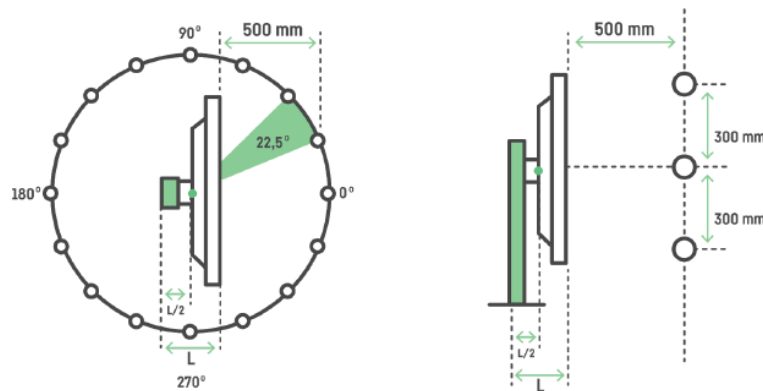


Ilustración 4 Geometría de medición de densidad de flujo magnético en pantallas

4.3.2. PROTOCOLO DE MEDICIÓN DE TORRES DE COMPUTADORES DE MESA

Para la medición del campo eléctrico de la caja del computador de mesa se usa el siguiente protocolo.

El computador debe estar en una superficie horizontal y tómanos el centro de la caja como eje de referencia. Para la banda I se toma la medida a 0,5 m frente a la caja y para la banda II se toma a 0,5 m de la superficie de la caja a 0°, 90°, 180° y 270° [3].

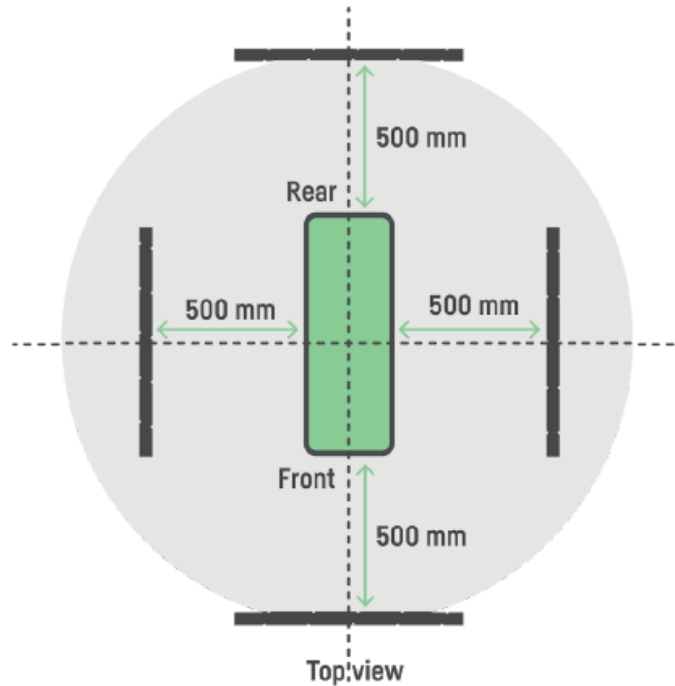


Ilustración 5 Geometría de medición de campo eléctrico en torres

Para la medición de la densidad de flujo magnético se usa el siguiente protocolo.

Se toma como eje el centro de la caja del computador de mesa y se toma una distancia de 0,5 m de la superficie de la caja, de aquí se mide frente a la caja en el eje que se tomó, a 0,3 m sobre el eje y a 0,3 m bajo el eje, esto se repite para la medida a 90°, 180° y 270° teniendo un total de 12 puntos de medida [3].

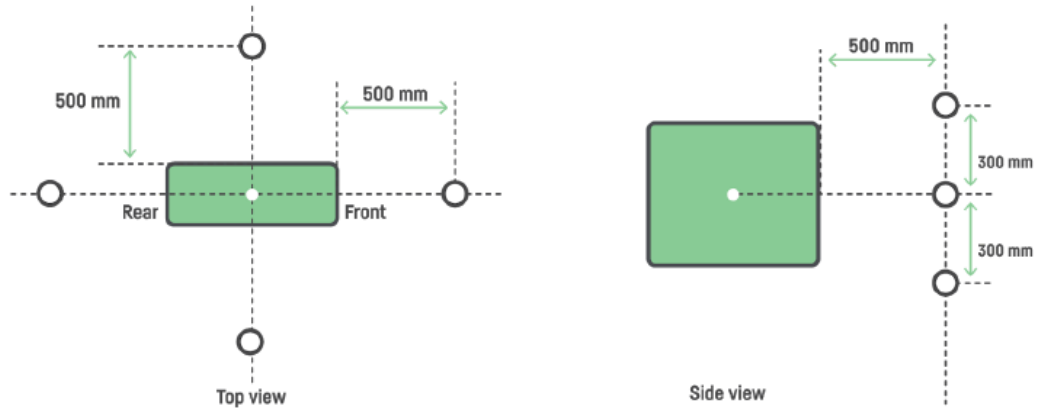


Ilustración 6 Geometría de medición de densidad de flujo magnético en torres

4.4. PROTOCOLO CALCULO DE INCERTIDUMBRES

Una vez obtenidos los datos se procedió con la estimación de las incertidumbres de los datos obtenidos, calculando la incertidumbre tipo A, tipo B1 y B2, la estándar combinada y la expandida [22].

4.4.1. INCERTIDUMBRE TIPO A

Para una magnitud de entrada X_i que varía aleatoriamente y que su valor se obtiene a partir de n observaciones repetidas, el mejor estimado \bar{x}_i es la media aritmética de las observaciones de la magnitud de entrada que se obtiene de [21]:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{i_k} \quad (1)$$

El mejor estimado de la incertidumbre estándar de Tipo A es la desviación estándar de la media de las observaciones [21]:

$$S_{(x_i)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (x_{i_k} - \bar{X})^2} \quad (2)$$

$$u_{A(x_i)} = \frac{S_{(x_i)}}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

4.4.2. INCERTIDUMBRE TIPO B1

Este tipo de incertidumbre no se obtiene por análisis estadístico de las mediciones, se obtiene por medio de información preexistente, para este caso se obtiene por especificaciones de exactitud del instrumento de medida de campos electromagnéticos [12].

$$u_{B1(x_i)} = \frac{Exactitud}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

4.4.3. INCERTIDUMBRE TIPO B2

Este tipo de incertidumbre no se obtiene por análisis estadístico de las mediciones, se obtiene por medio de información preexistente, para este caso la incertidumbre está asociada a la resolución de la indicación del instrumento de medición [12].

$$u_{B2(x_i)} = \frac{Resolución}{2\sqrt{3}} \quad (4)$$

4.4.4. INCERTIDUMBRE ESTÁNDAR COMBINADA

La incertidumbre combinada o total del resultado de una medición, se obtiene combinando apropiadamente las incertidumbres estándar de los estimados de las magnitudes de entrada. Esta incertidumbre se calcula como la raíz cuadrada positiva de la suma de los cuadrados de las incertidumbres tipo A y tipo B que intervienen en la medición [12].

$$u_{C(x_i)} = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} \quad (5)$$

4.4.5. INCERTIDUMBRE EXPANDIDA

Después de obtener la incertidumbre combinada, se procede a elegir el nivel de confianza p , que para los protocolos diseñados fue establecido en 95 %; es decir un nivel de significación α de 0,05. Una forma de calcular el factor de cobertura k es con el criterio de la distribución dominante, para usar este criterio primero debemos comparar u_A , u_{B1} , u_{B2} y escoger la de mayor magnitud, para luego dividirla entre la incertidumbre combinada si el resultado es menor 0.3, tomamos k como 1,96 [22, 21, 12].

En caso de que no se cumpla el criterio de distribución dominante, se debe hallar el valor de k , usando la tabla t de Student. Para esto debemos calcular el número efectivo de grados de libertad, con la ecuación de Welch-Satterthwaite [22, 21, 12]:

$$\gamma_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_A^4}{\gamma_1} + \frac{u_{B1}^4}{\gamma_2} + \frac{u_{B2}^4}{\gamma_3}} \quad (6)$$

Donde γ_1 , γ_2 y γ_3 son el numero de grados de libertad que para el caso de u_A es igual $n-1$, y para las incertidumbres tipo u_{B1} y u_{B2} dependen de un juicio científico subjetivo, así que estos valores varían en cada caso, en este caso se γ_2 y γ_3 se tomaron como infinito [22, 21, 12].

Una vez calculados los grados efectivos de libertad se haya el valor de k usando la tabla t de Student.

<i>n</i>	<i>t</i> _{0,55}	<i>t</i> _{0,60}	<i>t</i> _{0,70}	<i>t</i> _{0,80}	<i>t</i> _{0,90}	<i>t</i> _{0,95}	<i>t</i> _{0,975}	<i>t</i> _{0,99}	<i>t</i> _{0,995}
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045

Tabla 4 Tabla t de Student.

Para obtener la incertidumbre expandida se multiplica el valor de la incertidumbre combinada por el factor de cobertura *k* [21]:

$$u_E = u_C \cdot k \quad (7)$$

Por último, se expresa el valor de la medida con la incertidumbre expandida de la siguiente manera [21].

$$Y = y \pm u_E \quad (8)$$

5. RESULTADOS Y ANALISIS

Las salas escogidas para la caracterización electromagnética fueron las salas de cómputo 211 y 212 del edificio 3 de la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), estas salas son utilizadas para préstamo estudiantil y clases. Fueron escogidas debido a su gran densidad de elementos electrónicos.

5.1. CARACTERIZACIÓN DE LA SALA 211

Primeramente, se creó un esquema arquitectónico de la sala, obteniéndose lo siguiente.

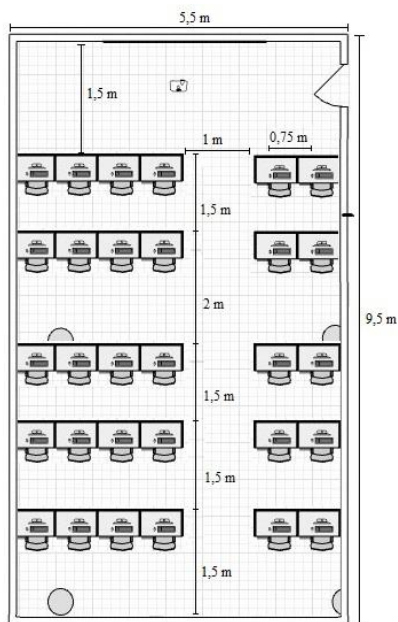


Ilustración 7 Esquema arquitectónico de la sala 211 del bloque 3 de la UTP.

Como se observa la sala cuenta con 30 equipos. Los equipos están ubicados en la sala de la siguiente manera.



Ilustración 8 Ubicación de los computadores presentes de la sala.

En el caso de los monitores ninguno supero los 4 V/m en banda I (5 Hz-2 kHz), ni los 0,4 V/m en banda II (2 kHz-400 kHz) de campo eléctrico, a 30 cm del centro de la pantalla, tampoco supero los 80 nT en banda I, ni los 10 nT en banda II de densidad de flujo magnético, por lo que se procedió a usar el protocolo rápido.

Para el espacio se tomaron 14 puntos, en los cuales se midió densidad de flujo magnético en el espectro de baja frecuencia (1Hz-400KHz) y campo eléctrico y magnético a dos rangos de alta frecuencia, el primer rango entre 100KHz-3GHz y el segundo entre 27MHz-1GHz.

La ubicación de los puntos de medida espaciales son los siguientes.

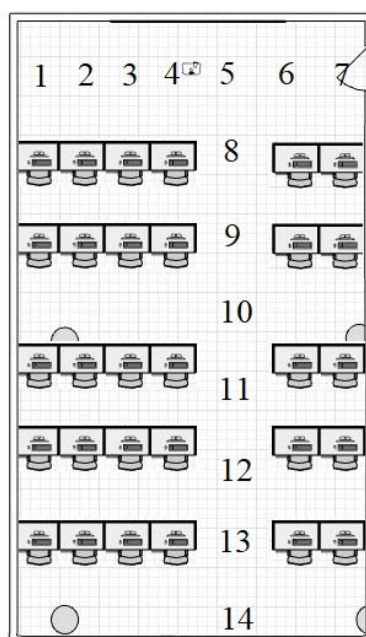


Ilustración 9 Numeración de los puntos espaciales en los que se midió.

Y la numeración usada para los equipos fue la siguiente.

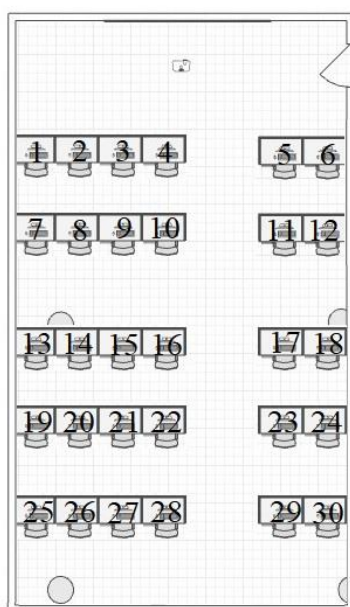


Ilustración 10 Numeración de los equipos presentes en la sala.

5.1.1. DATOS OBTENIDOS

DATOS DEL USUARIO				
Nombre o razón	Recursos Informáticos y Educativos (CRIE)			
CC/NIT				
E-mail	oswaldo@utp.edu.co			
Dirección	Cra. 27 ##10-02, Pereira, Risaralda			
Teléfono	3137141			
Fecha de medición	8/10/2019 y 15/10/2019			
DATOS DE LA ORGANIZACIÓN				
Ciudad	Pereira	Departamento	Risaralda	
Dirección	Cra. 27 ##10-02	Institución	UTP	
Barrio		Horario de Uso		
Uso del lugar (x)	Educativo	X	llegada	8 AM
	Laboral		salida	12 PM
DATOS DE LAS PERSONAS RESPONSABLES DE LA MEDICIÓN				
Nombres y apellidos	Daniel Ramírez Palacio		Cargos	Medidor

Observaciones: - Las medidas se tuvieron que realizar en 2 días por cuestiones de tiempo de medida y disponibilidad de la sala.

Tabla 5 Formato para la consignación de datos preliminares a la medición de CEM-NI de fuentes no intencionales

EQUIPOS UTILIZADOS PARA LAS MEDICIONES DE CEM-NI				
ítem	Marca	Modelo	Variables medibles	Exactitud
1	Narda	ELT-400	Densidad de flujo magnético	4%
2	Narda	NBM-520	Campo eléctrico y magnético	2%
3	SPECTRAN	NF-5010	Campo eléctrico y densidad de flujo magnético	3%

Tabla 6 Formato para la consignación de los instrumentos de medición utilizados en a la medición de CEM-NI de fuentes no intencionales

Para el monitor del equipo #1 se obtuvieron los siguientes datos.

MEDICIONES REALIZADAS MONITORES PROTOCOLO RAPIDO				
1	E (V/m)		H(nT)	
Rango I	2,456	Prom	30,087	Prom
	2,013	2,206 ± 0,560	42,553	34,242 ± 17,879
	2,150		30,087	
Rango II	0,172	Prom	2,762	Prom
	0,181	0,173 ± 0,019	2,053	2,550 ± 1,072

	0,166		2,836	
--	-------	--	-------	--

Tabla 7 Formato de medición rápida para monitores

De igual forma se obtuvieron los datos de todos los equipos y se compararon con los límites establecidos por la TCO. Para la exposición a campos eléctricos en la banda I.

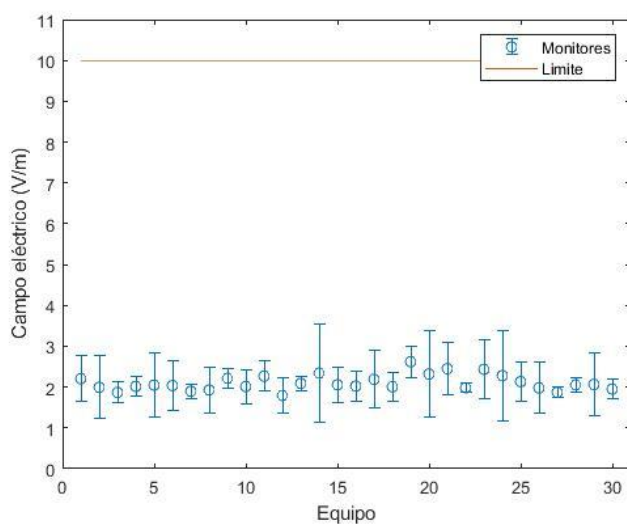


Ilustración 11 Datos de campo eléctrico de monitores en la banda I de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la exposición en a campos eléctricos en la banda II.

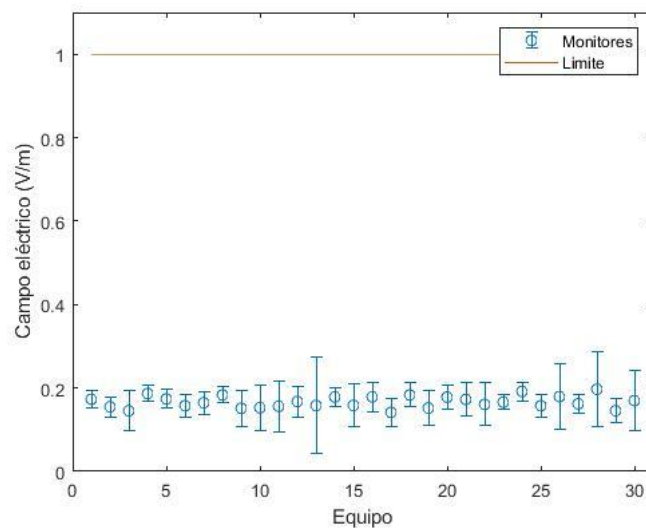


Ilustración 12 Datos de campo eléctrico de monitores en la banda II de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la densidad de flujo magnético en la banda I.

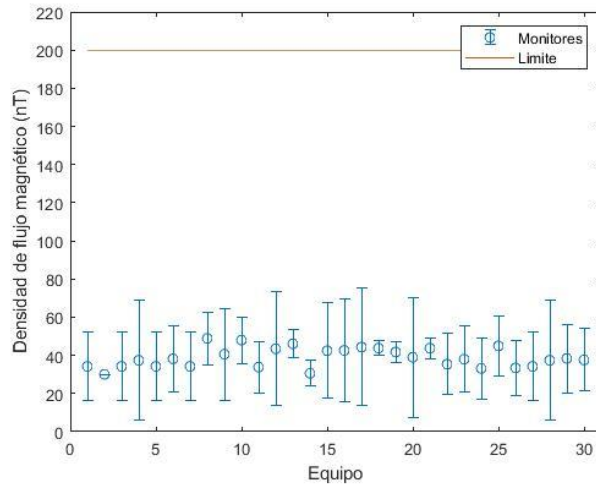


Ilustración 13 Datos de densidad de flujo magnético de monitores en la banda I de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la densidad de flujo magnético en la banda II.

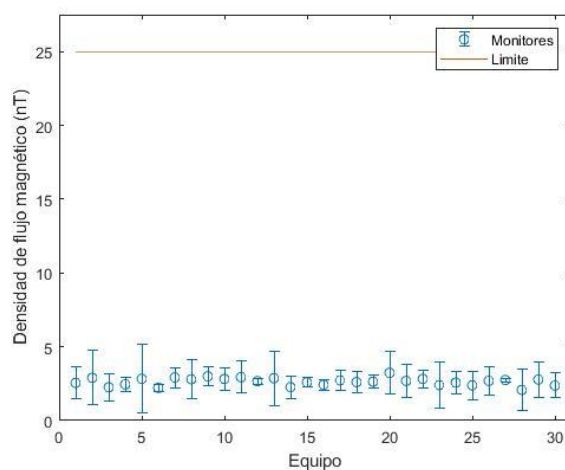


Ilustración 14 Datos de densidad de flujo magnético de monitores en la banda II de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Los datos obtenidos de campo eléctrico en la banda I de la torre del equipo #1 fueron los siguientes.

MEDIDAS DE CAMPO ELÉCTRICO EN TORRES		
AARONIA NF 5010		
PC	E[V/m] Banda I	
PC1	2,438	2,542 ± 0,655
	2,345	
	2,843	

Tabla 8 Formato de medición en torres para el campo eléctrico en la banda I.

De la misma forma se compararon los datos de las torres de todos los equipos con el límite propuesto.

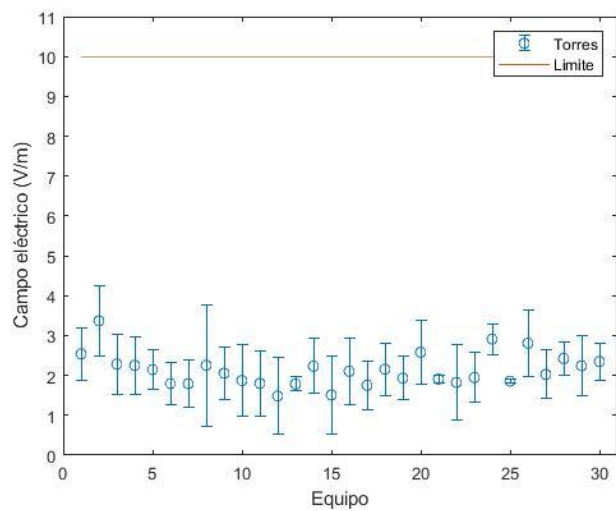


Ilustración 15 Datos de campo de torres eléctrico en la banda I de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para campos eléctricos en la banda II. Se obtuvo lo siguiente.

MEDIDAS DE CAMPO ELÉCTRICO EN TORRES			
AARONIA NF 5010			
PC	Angulo	E[V/m] Banda II	
1	0	0,136	0,164 ± 0,047
		0,181	
		0,176	
	90	0,120	0,140 ± 0,038
		0,140	
		0,161	
	180	0,151	0,168 ± 0,035

		0,188	0,000 ± 0,000
		0,164	
	270	0,000	
		0,000	
		0,000	

Tabla 9 Formato de medición en torres para el campo eléctrico en la banda II.

Debido a la ubicación de las torres no fue posible la medida en algún ángulo, en algunos equipos, sin embargo, se usó el protocolo completo pues en todas las torres se midió mínimo en 3 ángulos. En el caso del equipo #1 no se pudo medir a 270° y por eso estos valores están en cero. Ya con todos los valores de las torres podemos comparar los niveles de intensidad del campo eléctrico en la banda II.

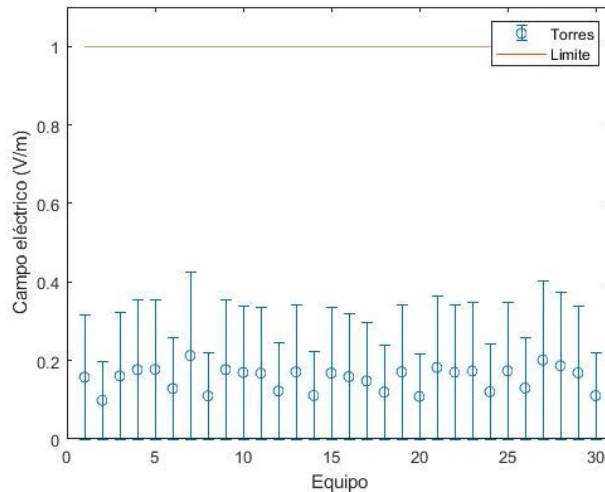


Ilustración 16 Datos de campo eléctrico de torres en la banda II de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la densidad de flujo magnético en la torre #1 se obtuvo lo siguiente.

MEDIDAS DE CAMPO MAGNÉTICO EN TORRES

AARONIA NF 5010				
PC	Angulo		H(nT)	
1	0	Rango I	78,17	Prom
			45,13	62,38 ± 41,16
			63,83	
		Rango II	1,80	Prom
			2,34	2,02 ± 0,70
			1,92	
	90	Rango I	45,13	Prom
			63,83	51,50 ± 26,54
			45,53	
		Rango II	2,19	Prom
			1,77	1,91 ± 0,61
			1,76	
	180	Rango I	79,17	Prom
			63,38	63,29 ± 39,57
			47,31	
		Rango II	1,62	Prom
			2,68	2,06 ± 1,38
			1,87	

	270	Rango I	0,00	Prom
			0,00	0,00 ± 0,00
			0,00	
		Rango II	0,00	Prom
			0,00	0,00 ± 0,00
			0,00	

Tabla 10 Formato de medición en torres para densidad de flujo magnético.

Comparando la banda I con los límites.

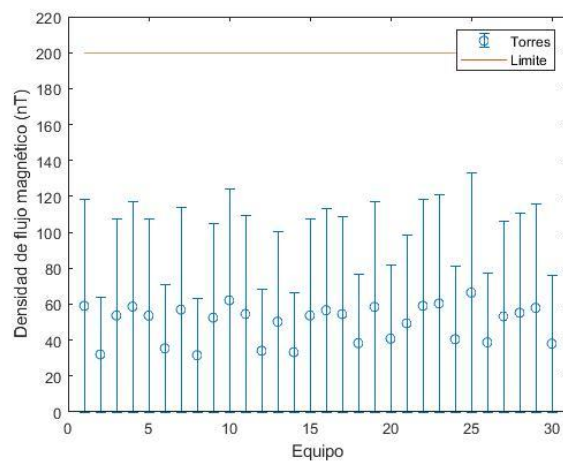


Ilustración 17 Datos de densidad de flujo magnético de torres en la banda I de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la densidad de flujo magnético en la banda II.

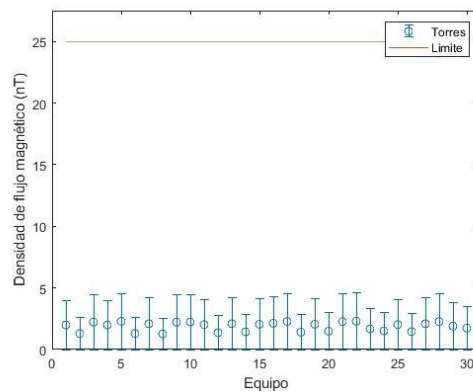


Ilustración 18 Datos de densidad de flujo magnético de torres en la banda II de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Los datos obtenidos de baja frecuencia del espacio para el punto 1 del espacio son los siguientes.

MEDICIONES REALIZADAS ESPACIO BAJA FRECUENCIA	
1	B [uT] 1Hz-400KHz
61,68	Prom
61,57	61,66 ± 0,20
61,74	

Tabla 11 Datos espaciales de baja frecuencia.

Para alta frecuencia se obtuvo lo siguiente.

MEDICIONES REALIZADAS ESPACIO ALTA FRECUENCIA				
1	E [V/m]		H [A/m]	
100KHz-3GHz	0,46	Prom	0,002	Prom
	0,50	0,52 ± 0,19	0,002	0,002 ± 0,011

	0,61		0,002	
27MHz-1GHz	12,09	Prom	0,0036	Prom
	12,85	12,55 \pm 1,00	0,0036	0,0036 \pm 0,0113
	12,70		0,0036	

Tabla 12 Datos espaciales de alta frecuencia.

Comparando los datos obtenidos con los límites propuestos por la ICNIRP, obtenemos lo siguiente para baja frecuencia.

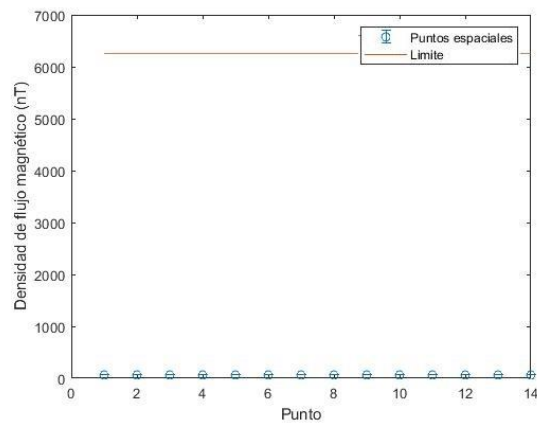


Ilustración 19 Datos de densidad de flujo magnético en baja frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

Para los datos de campo eléctrico de alta frecuencia en el rango de 100KHz-3GHz.

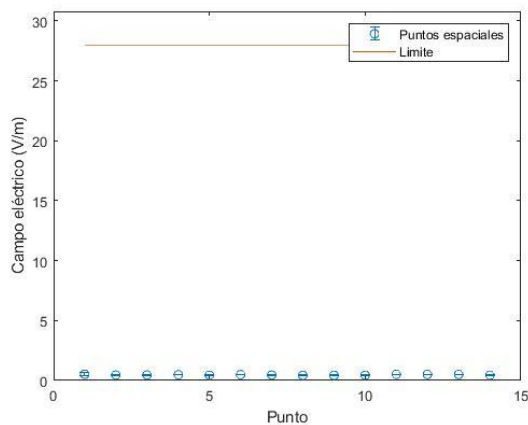


Ilustración 20 Datos de campo eléctrico en alta frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

Para los datos de campo magnético de alta frecuencia en el rango de 100KHz-3GHz.

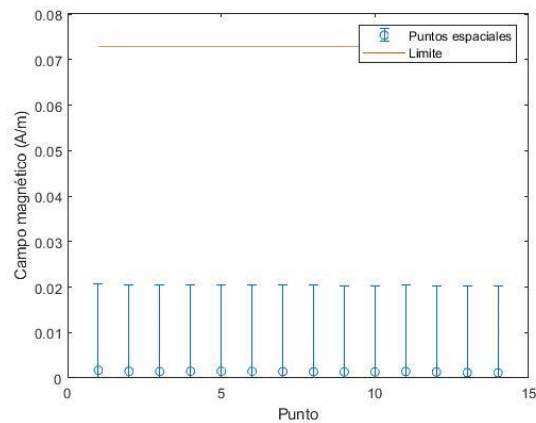


Ilustración 21 Datos de campo magnético en alta frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

Para los datos de campo eléctrico de alta frecuencia en el rango de 27 MHz-1GHz.

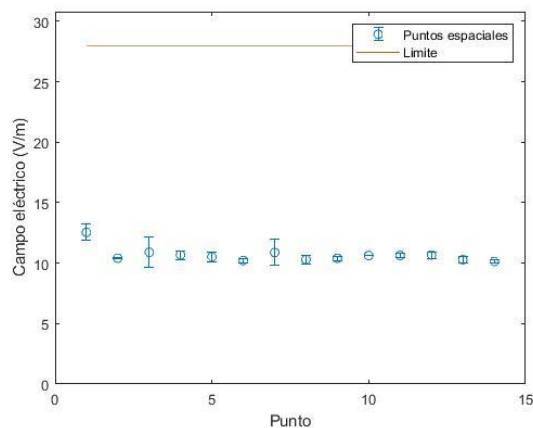


Ilustración 22 Datos de campo eléctrico en alta frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

Para los datos de campo magnético de alta frecuencia en el rango de 27 MHz-1GHz.

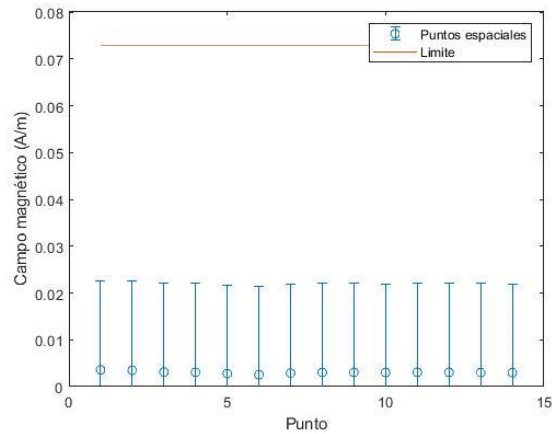


Ilustración 23 Datos de campo magnético en alta frecuencia de la sala 211, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

En algunas graficas se observan incertidumbres de gran valor respecto a la medida, esto es debido a que los campos medidos son muy inestables y varían mucho en el tiempo.

5.2. CARACTERIZACIÓN DE LA SALA 212

Se creó un esquema arquitectónico de la sala, obteniéndose lo siguiente.

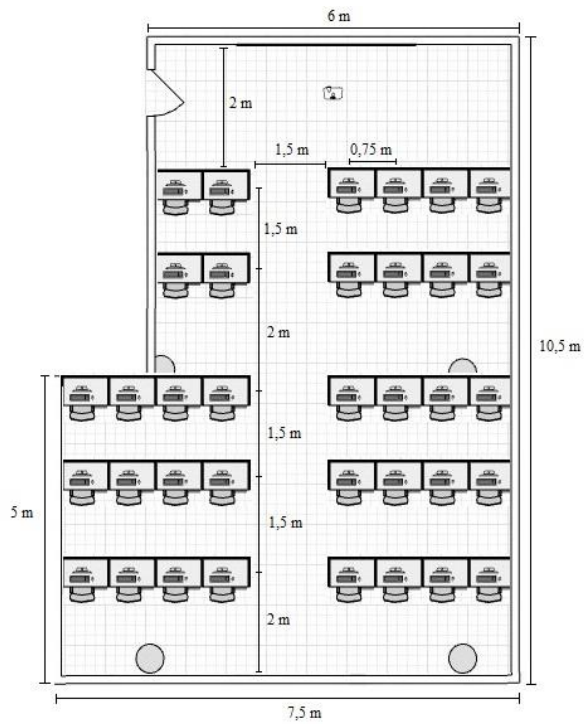


Ilustración 24 Esquema arquitectónico de la sala 212 del bloque 3 de la UTP.

Como se observa la sala cuenta con 36 equipos. Los equipos están ubicados en la sala de la siguiente manera.



Ilustración 25 Ubicación de los computadores presentes de la sala.

En el caso de los monitores ninguno supero los 4 V/m en banda I (5 Hz-2 kHz), ni los 0,4 V/m en banda II (2 kHz-400 kHz) de campo eléctrico, a 30 cm del centro de la pantalla, tampoco supero los 80 nT en banda I, ni los 10 nT en banda II de densidad de flujo magnético, por lo que se procedió a usar el protocolo rápido.

En cuanto a las torres por su posición no fue posible medir a 4 ángulos como lo especifica el protocolo para campo eléctrico en banda I y densidad de flujo magnético en banda I y II, por lo cual solo se midió a un ángulo.

Para el espacio se tomaron 13 puntos, en los cuales se midió densidad de flujo magnético en el espectro de baja frecuencia (1Hz-400KHz) y campo eléctrico y magnético a dos rangos de alta frecuencia, el primer rango entre 100KHz-3GHz y el segundo entre 27MHz-1GHz.

La ubicación de los puntos de medida espaciales son los siguientes.

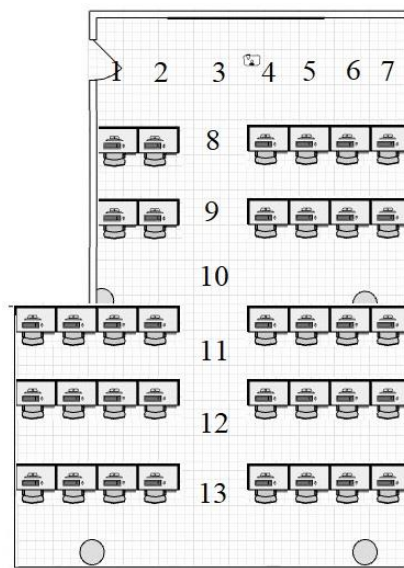


Ilustración 26 Numeración de los puntos espaciales en los que se midió.

Y la numeración usada para los equipos fue la siguiente.

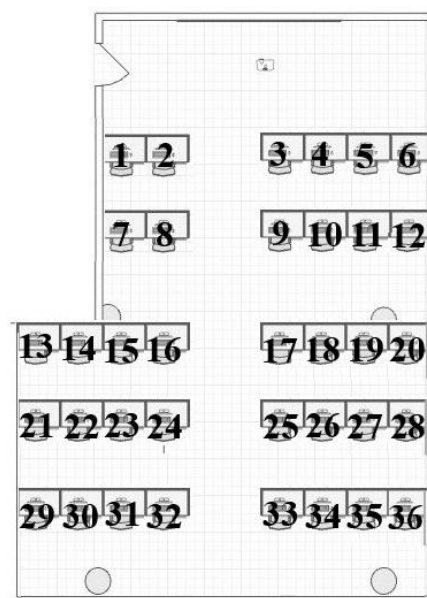


Ilustración 27 Numeración de los equipos presentes en la sala.

5.2.1. DATOS OBTENIDOS

DATOS DEL USUARIO			
Nombre o razón	Recursos Informáticos y Educativos (CRIE)		
CC/NIT			
E-mail	oswaldo@utp.edu.co		
Dirección	Cra. 27 ##10-02, Pereira, Risaralda		
Teléfono	3137141		
Fecha de medición	10/10/2019 y 17/10/2019		
DATOS DE LA ORGANIZACIÓN			
Ciudad	Pereira	Departamento	Risaralda
Dirección	Cra. 27 ##10-02	Institución	UTP
Barrio		Horario de Uso	

Uso del lugar (x)	Educativo	X	llegada	2 PM
	Laboral		salida	6 PM
DATOS DE LAS PERSONAS RESPONSABLES DE LA MEDICIÓN				
Nombres y apellidos	Daniel Ramírez Palacio		Cargos	Medidor
<p>Observaciones: - Las medidas se tuvieron que realizar en 2 días por cuestiones de tiempo de medida y disponibilidad de la sala.</p> <p>- No fue posible usar el protocolo completo para las torres por la forma como estaban ubicadas en la mesa.</p>				

Tabla 13 Formato para la consignación de datos preliminares a la medición de CEM-NI de fuentes no intencionales

EQUIPOS UTILIZADOS PARA LAS MEDICIONES DE CEM-NI				
Ítem	Marca	Modelo	Variables medibles	Exactitud
1	Narda	ELT-400	Densidad de flujo magnético	4%
2	Narda	NBM-520	Campo eléctrico y magnético	2%
3	SPECTRAN	NF-5010	Campo eléctrico y densidad de flujo magnético	3%

Tabla 14 Formato para la consignación de los instrumentos de medición utilizados en a la medición de CEM-NI de fuentes no intencionales

Para el monitor del equipo #1 se obtuvieron los siguientes datos.

MEDICIONES REALIZADAS MONITORES PROTOCOLO RAPIDO				
1	E (V/m)		H(nT)	
Rango I	1,422	Prom	26,907	Prom
	1,172	1,234 \pm 0,409	20,845	25,748 \pm 11,027
	1,109		29,493	
Rango II	0,171	Prom	3,584	Prom
	0,159	0,162 \pm 0,016	3,462	3,514 \pm 0,145
	0,155		3,497	

Tabla 15 Formato de medición rápida para monitores

De igual forma se obtuvieron los datos de todos los equipos y se compararon con los límites establecidos por la TCO. Para la exposición a campos eléctricos en la banda I.

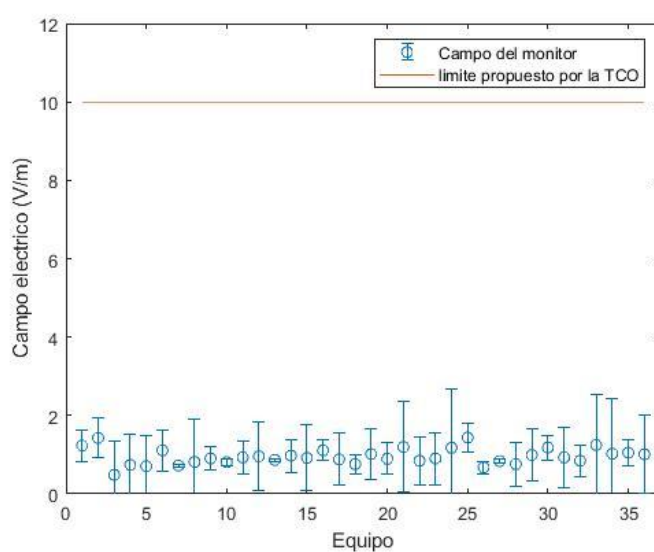


Ilustración 28 Datos de campo eléctrico de monitores en la banda I de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la exposición en a campos eléctricos en la banda II.

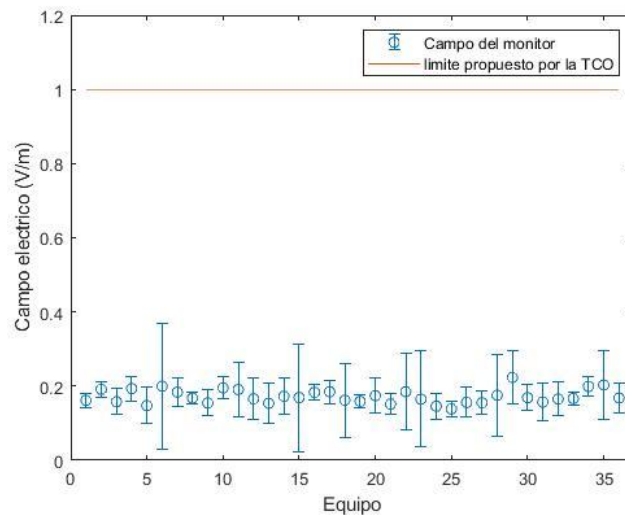


Ilustración 29 Datos de campo eléctrico de monitores en la banda II de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la densidad de flujo magnético en la banda I.

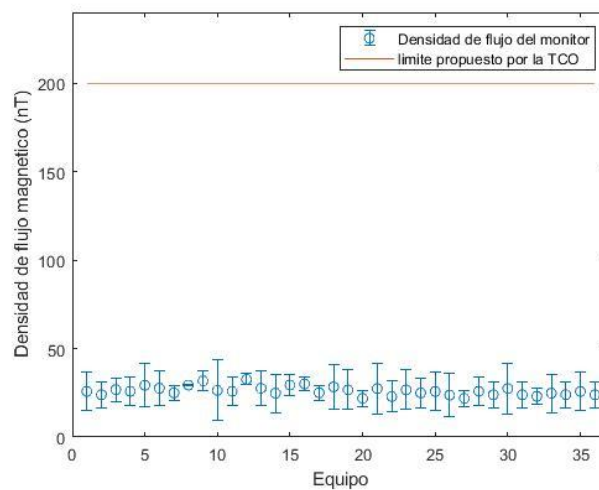


Ilustración 30 Datos de densidad de flujo magnético de monitores en la banda I de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la densidad de flujo magnético en la banda II.

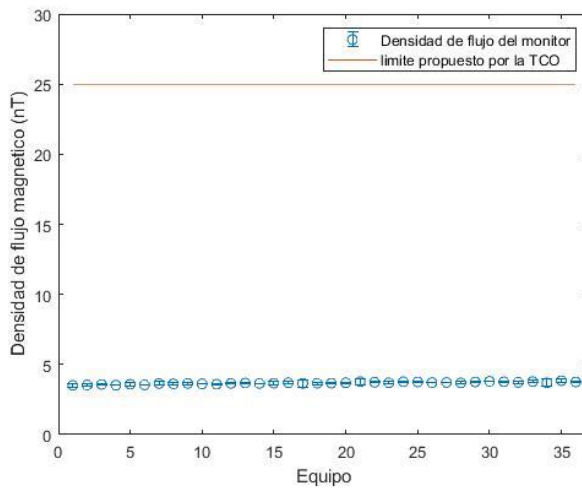


Ilustración 31 Datos de densidad de flujo magnético de monitores en la banda II de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Los datos obtenidos de la torre del equipo #1 fueron los siguientes.

MEDICIONES REALIZADAS EN TORRES				
1	E (V/m)		H(nT)	
Rango I	2,034	Prom	26,907	Prom
	1,631	1,870 ± 0,525	24,072	25,962 ± 4,066
	1,946		26,907	
Rango II	0,136	Prom	3,527	Prom
	0,178	0,155 ± 0,043	3,501	3,520 ± 0,033
	0,152		3,533	

Tabla 16 Formato de medición en torres.

De la misma forma se compararon los datos de las torres de todos los equipos con los límites propuestos, excepto la torre del equipo #22, pues se encontraba fuera de servicio. Para campos eléctricos en la banda I.

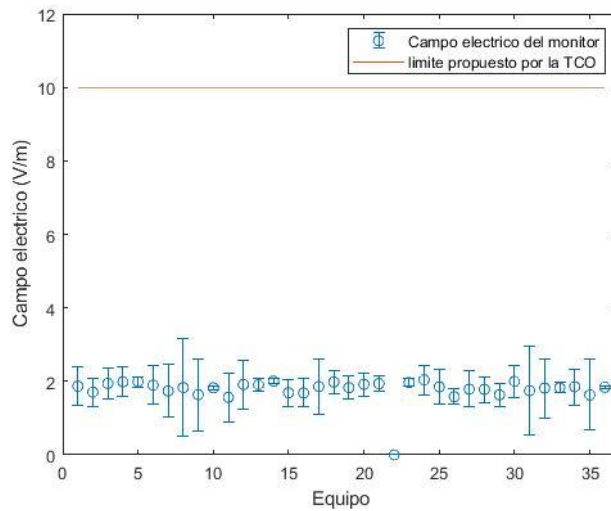


Ilustración 32 Datos de campo eléctrico de torre en la banda I de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para campos eléctricos en la banda II.

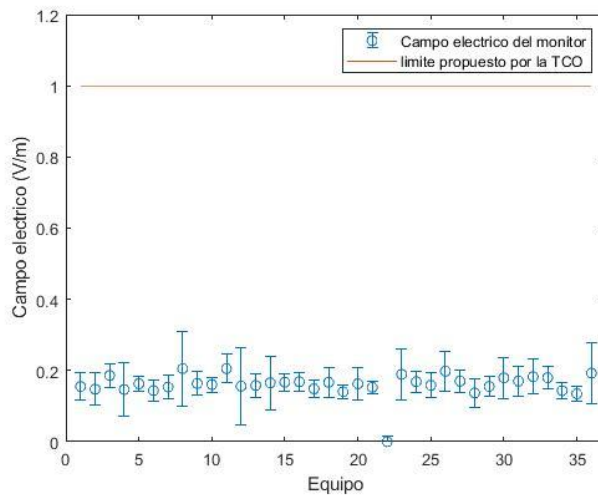


Ilustración 33 Datos de campo eléctrico de torres en la banda II de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la densidad de flujo magnético en la banda II.

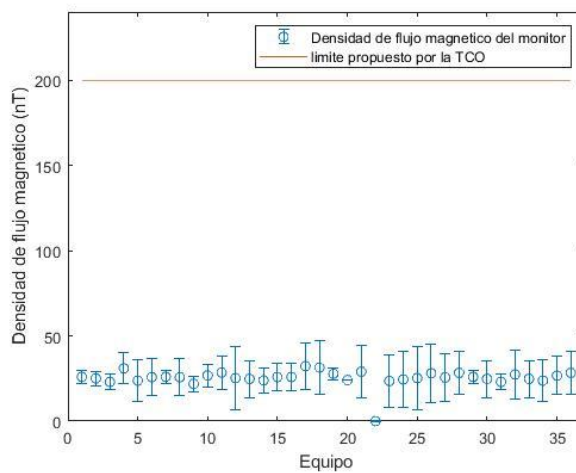


Ilustración 34 Datos de densidad de flujo magnético en torres en la banda I de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Para la densidad de flujo magnético en la banda II.

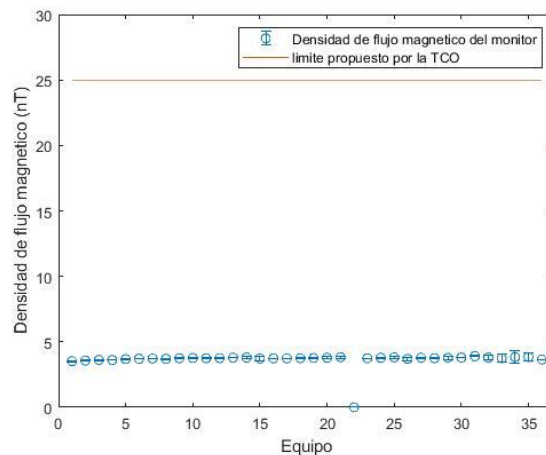


Ilustración 35 Datos de densidad de flujo magnético de torres en la banda II de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la TCO.

Los datos obtenidos de baja frecuencia del espacio para el punto 1 del espacio son los siguientes.

**MEDICIONES REALIZADAS
ESPACIO BAJA FRECUENCIA**

1	B [uT] 1Hz-400KHz
62,9	Prom
62,8	62,9 ± 0,1
62,9	

Tabla 17 Datos espaciales de baja frecuencia.

Para alta frecuencia se obtuvo lo siguiente.

MEDICIONES REALIZADAS ESPACIO ALTA FRECUENCIA				
1	E [V/m]		H [A/m]	
100KHz- 3GHz	0,58	Prom	0,010	Prom
	0,57	0,58 ± 0,01	0,010	0,010 ± 0,003
	0,58		0,010	
27MHz- 1GHz	7,02	Prom	0,0205	Prom
	6,82	6,89 ± 0,27	0,0203	0,0203 ± 0,0113
	6,84		0,0202	

Tabla 18 Datos espaciales de alta frecuencia.

Comparando los datos obtenidos con los limites propuestos por la ICNIRP, obtenemos lo siguiente para baja frecuencia.

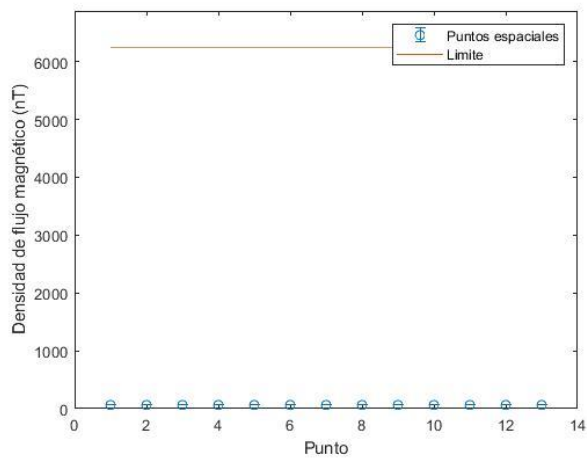


Ilustración 36 Datos de densidad de flujo magnético en baja frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

Para los datos de campo eléctrico de alta frecuencia en el rango de 100KHz-3GHz.

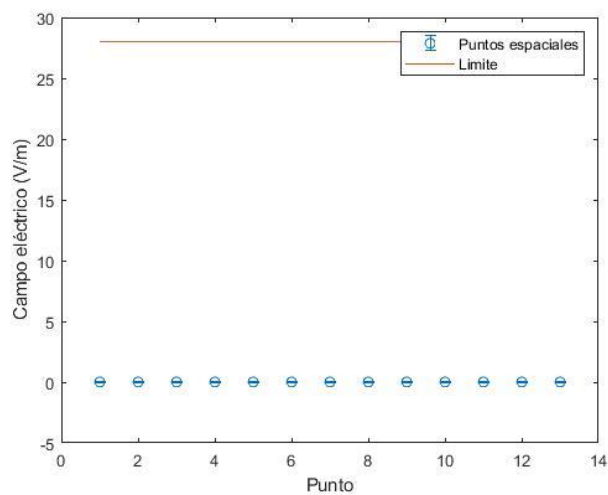


Ilustración 37 Datos de campo eléctrico en alta frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

Para los datos de campo magnético de alta frecuencia en el rango de 100KHz-3GHz.

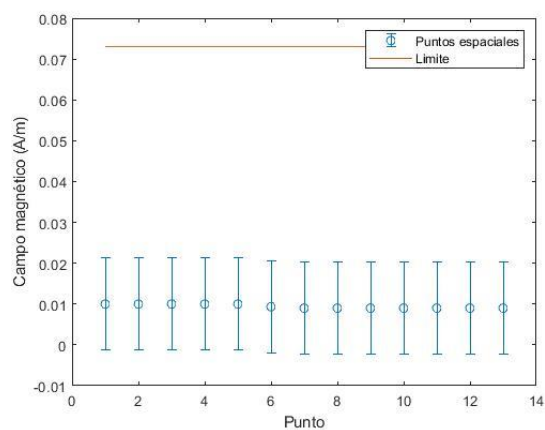


Ilustración 38 Datos de campo magnético en alta frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

Para los datos de campo eléctrico de alta frecuencia en el rango de 27 MHz-1GHz.

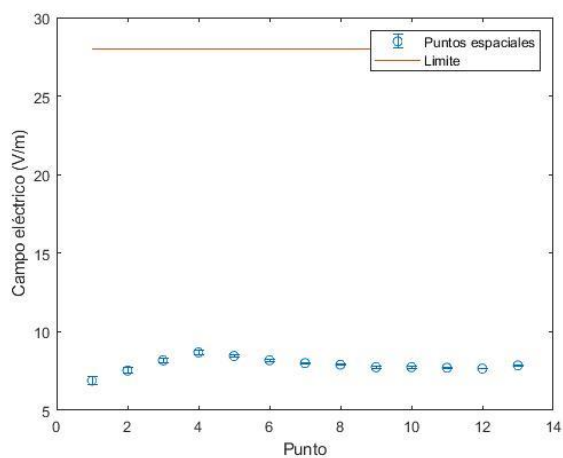


Ilustración 39 Datos de campo eléctrico en alta frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

Para los datos de campo magnético de alta frecuencia en el rango de 27 MHz-1GHz.

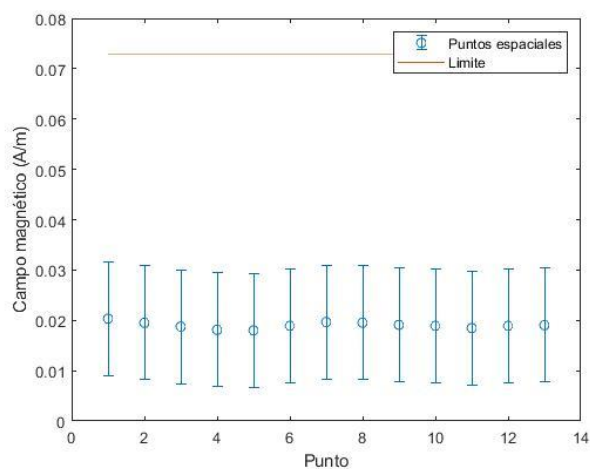


Ilustración 40 Datos de campo magnético en alta frecuencia de la sala 212, comparados con el límite propuesto por la ICNIRP.

En algunas graficas se observan incertidumbres de gran valor respecto a la medida, esto es debido a que los campos medidos son muy inestables y varían mucho en el tiempo.

6. CONCLUSIONES

- Los campos electromagnéticos presentes en las salas 211 y 212 del bloque 3 de la Universidad Tecnológica de Pereira, no exceden los límites establecidos por la ICNIRP y la TCO, por lo cual se pueden considerar seguros para los estudiantes, monitores, profesores y administrativos que usan los equipos de esta sala.
- El protocolo creado en base de las normas TCO y la norma UIT K 52, fue efectivo para obtener los datos de campo eléctrico, campo magnético y densidad de flujo magnético de las salas, con el único impedimento de que no fue posible el uso del protocolo completo en torres por su posición que solo permitía medir a un ángulo en la sala 212.
- Los campos electromagnéticos presentes en la sala de cómputo son inestables y varían notablemente en el tiempo, sin embargo, no exceden los límites establecidos a pesar de su varianza.

REFERENCIAS

- [1] ICNIRP, «Statutes of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP),» de *Statutes of ICNIRP*, Rio de Janeiro , 2008.
- [2] TCO, «TCO Certified Generation 8, for displays,» TCO, Estocolmo, 2019.
- [3] TCO, «TCO Certified Generation 8, for desktops,» TCO, Estocolmo, 2019.
- [4] ANE, Cuadro nacional de atribución de bandas de frecuencia, Bogota: ANE, 2019.
- [5] ANE, «Resolución N° 000754,» 2016.
- [6] UIT, «Orientación sobre el cumplimiento de de los límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos,» UIT, Suiza, 2000.
- [7] TCO, «TCO Certified Generation 8, for all-in-one PCs,» TCO, Estocolmo, 2019.
- [8] TCO, «TCO Certified Generation 8, for projectors,» TCO, Estocolmo, 2019.
- [9] ICNIRP, «ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz- 100 kHz),» *Health Phys*, vol. 99, nº 6, pp. 818-836, 2010.
- [10] ICNIRP, Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz), Munich: ICNIRP Scientific Secretary , 2009.
- [11] C. G. D. y. M. L. P. V. Manuel Bañol, «Diseño e implementación de procedimientos técnicos para la evaluación del riesgo de los campos

electromagnéticos producidos por la telefonía celular,» *Universidad Tecnológica de Pereira*, 2011.

- [12] V. D. I. y. D. C. C. L.E. Llamosa Rincón, «Medición y Certificación de Niveles de Intensidad de Campos Electromagnéticos No Ionizantes en Ambientes Clínico Hospitalarios,» *Scientia et Technica* , vol. 20, nº 4, pp. 373-381, 2015.
- [13] A. E. C. R. P. y. G. A. G. Aponte, «Medición de Campos Electromagnéticos en la Ciudad de Cali, Colombia,» *Información Tecnológica*, vol. 18, nº 3, pp. 39-47, 2007.
- [14] B. M. y. M. Téllez, «Contaminación ambiental por ondas electromagnéticas no ionizantes producto de tecnologías inalámbricas en ambientes al aire libre,» *Revista Mutis*, vol. 8, nº 2, pp. 57-72, 2018.
- [15] J. R. Uribe, « Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga,» *Ingeniería e investigación*, vol. 27, nº 3, pp. 149-158, 2007.
- [16] A. Belendez, «La unificación de luz, electricidad y magnetismo: la "síntesis electromagnética" de Maxwell,» *Brasileira de Ensino de Física*, vol. 30, nº 2, 208.
- [17] B. Knave, *Enciclopedia de la salud y seguridad en el trabajo*, Madrid: Ministerio de trabajo y asuntos sociales, 1998.
- [18] J. M. V. R. y. J. R. García, *Fundamentos de óptica ondulatoria*, Oviedo: Universidad de Oviedo, 1999.
- [19] F. H. Attix, *Introduction to radiological physics and radiation dosimetry*, Madison: WILEY-VCH, 1986.

[20] ICONTEC , «NTC-ISO/IEC 17025,» 2005.

[21] J. G. E. R. B. L.E. LLAMOSA R, «Diseño de un procedimiento para el calculo de incertidumbre en mediciones indirectas,» *Scientia Et Technica*, vol. 15, nº 42, pp. 187-192, 2009.

[22] A. E. Esquivel, *Metroligía y sus aplicaciones*, Mexico: Patria, 2014.